ChinaXiv合作期刊

第 38 卷第 11 期　　生　态　学　报　　Vol.38,No.11
2018 年 6 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Jun.,2018

DOI: 10.5846/stxb201705230956
周玉泉, 康文星, 陈日升, 田大伦,项文化.不同栽植代数杉木林养分吸收、积累和利用效率的比较.生态学报,2018,38(11):3868-3878.
Zhou Y Q, Kang W X, Chen R S, Tian D L, Xiang W H. Nutrient uptake, accumulation, and utilization efficiency comparisons in plantations containing different generations of Chinese fir. Acta Ecologica Sinica,2018,38(11):3868-3878.

不同栽植代数杉木林养分吸收、积累和利用效率的比较

周玉泉[1], 康文星[1,2,3,*], 陈日升[1], 田大伦[1,2,3],项文化[1,3]
1 中南林业科技大学,长沙　410004
2 南方林业生态应用技术国家工程实验室,长沙　410004
3 国家野外科学观测研究站,会同　418307

摘要:利用第一代以及与第一代连栽的第二代杉木林的 40 多年定位连续测定的生物量和养分数据,分析了第一和第二代杉木林在养分吸收、积累、利用效率的差异。结果表明:同一生育阶段第二代杉木体内 N、P、K、Ca、Mg 浓度分别比第一代高 2.85—3.48,0.16—0.25,1.86—2.72,2.10—2.50,0.77—1.31 g/kg;第一代 7、20、25 年生时的养分积累量分别比第二代多 9.14%,2.01%,0.22%,而 11、16 年生时则分别比第二代少 6.72%,3.44%,杉木连栽不一定导致第二代林乔木层养分积累减少;第一代 1—7 年生的年均吸收养分量比第二代多 7.94%,8—11,12—16,17—18、21—25 生分别比第二代少 13.04%,2.52%,7.93%和 14.58%;1—7,8—11,12—16,17—20,21—25 年生时,每生产 1 t 干物质所需养分,第二代比第一代分别多 1.28、3.19、4.28、4.09、4.09 kg;杉木连栽可导致第二代林的养分吸收量增多,养分利用效率降低。

关键词:栽植代数;杉木;养分积累;养分利用;生产力

Nutrient uptake, accumulation, and utilization efficiency comparisons in plantations containing different generations of Chinese fir

ZHOU Yuquan[1], KANG Wenxing[1,2,3,*], CHEN Risheng[1], TIAN Dalun[1,2,3], XIANG Wenhua[1,3]
1 *Central South University of Forestry and Technology, Changsha* 410004, *China*
2 *National Engineering Lab for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha* 410004, *China*
3 *National Field Station for Scientific Observation & Experiment in Huitong Hunan, Huitong* 418307, *China*

Abstract: The differences in nutrient absorption, accumulation, and utilization efficiency were analyzed at the first and the second rotations in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations using a 40 year database of biomass and nutrient levels from Huitong National Research Station of Chinese Fir Plantation Ecosystem in Hunan Province, Central South University of Forestry and Technology, China. The results showed that the N, P, K, Ca, and Mg concentrations in the second rotation were 2.85—3.48, 0.16—0.25, 1.86—2.72, 2.10—2.50, and 0.77—1.31 g/kg higher than in the first rotation, respectively. The nutrient accumulation of the first generation was 9.14%, 2.01% and 0.22% higher than that of the second generation at 7, 20, and 25 years old, respectively, while that of was 6.72% and 3.44% lower than that of the second generation at 11 and16 years old, respectively. Chinese fir continuous planting does not necessarily lead to the second generation of forest tree layer nutrient accumulation decreased. Annual absorption of nutrients in the first rotations (1—7 years old) was 9.14% higher than the second rotations at the same age. However, at the ages of 8 to 11, 12 to 16,

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201104009);科技部公益性研究项目(2007-4-15);国家野外科学观测研究站项目(20080615)
收稿日期:2017-05-23;　　**网络出版日期:**2018-03-02

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: kwx1218@126.com

chinaXiv:201806.00072v1
www.ecologica.cn

ChinaXiv合作期刊

17 to 18, and 21 to 25, they were 13.04%, 2.52%, 7.93%, and 14.58% less than the second rotations, respectively. In the same age classes, the second rotations required1.28, 3.19, 4.28, 4.09, and 4.09 kg more nutrients for each year class, respectively, to produce 1 ton of dry matter compared to the first rotations. These results indicate that successive rotations bring about an increase in nutrient uptake, and a decrease in nutrient use efficiency in the second rotations across the central south subtropical regions.

Key Words: planting algebra; Chinese fir; nutrient accumulation; nutrient utilization; productivity

19 世纪中期,当 Ebermayer 测定了阔叶林和针叶林的养分含量[1],揭开了森林养分动态研究序幕,20 世纪 60 年代后,Cole[2]、Duvigneaud[3]、Bormann[4]、Tsutuumi[5]、Bazilevich[6]等国外学者在森林养分的研究方法、测定技术、养分循环的分类等方面做出了重要贡献。

20 世纪 50 年代侯学煜等已分析了中国 150 种植物化学成份[7]。20 世纪 70 年代后,潘维俦[8]、冯宗炜[9]等分别开启了杉木(*Cunninghamia lanceolata* (lamb) Hook)人工林养分循环的研究。随后我国进入一个关于森林养分动态研究的快速发展阶段,尤其近 10 多年许多学者对不同类型的森林,尤其是人工林[10-16]养分循环展开大量研究。这些研究成果都具有重要的实践和理论意义。以上国内大部分研究主要集中在林分某一生长阶段的养分积累与分配的静态特征上。虽然也有学者探讨了不同生长阶段林分养分积累与分配的动态变化[17-20]。但大都用"空间换时间"的研究方法。其研究结果可能偏移实际。

19 世纪初就已发现人工林连栽后会出现生产力下降和地力衰退的"二代效应"问题[21]。为探索杉木连栽地力衰退的原因,有学者从林分养分动态出发采用时空转换法对不同代数杉木林养分循环进行比较[22-23]。也有学者对第一代杉木林采伐后紧接营造第二代杉木林的两代杉木林的养分利用效率进行分析[24],由于估算不同生长阶段林分净生产力和每年吸收的养分量的方法不完全准确,其研究结果难免会有疵瑕。本研究用会同第二代与第一代连栽的两代林 40 多年的生物量和养分测定数据,采用新的研究方法(在研究方法中说明),分析两代杉木林在不同生长阶段的养分吸收、积累以及利用的差异。从两代杉木林的养分动态变化上,探讨人工林连栽后会出现生产力下降和地力衰退的原因。为人工林的持续经营和管理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

本研究在湖南会同杉木林生态系统研究站(属于国家野外科学—观测站)第 3 试验小集水区进行。地理位置 26°50′N,109°45′E,面积 1.984 hm^2,海拔 270—350 m,坡向西北,坡度 15—25°。研究区属于中亚热带季风湿润气候区,年平均气温 16.9℃,年降雨量 1100—1400 mm,年均相对湿度 80%以上。土壤母岩为震旦纪板溪系灰绿色板岩,风化程度较深,土层厚度 80 cm 以上,土壤为中有机质厚层黄壤。

1962 年第 3 小集水区在原为残存的阔叶次生林地营造杉木人工林,其杉木林于 1987 年冬皆伐了,并于 1988 年春在采伐迹地上营造的第二代杉木林。两代林的整地造林方式相同(炼山、全垦挖穴),造林密度也相近(约 3000 株/hm^2),而且都是杉木栽上后前 3 a 的春秋季节各抚育 1 次,以后任其自然生长。

1.2　样品采集

第 3 小集水区第一代杉木人工林 7 年生时,设立了 4 块固定标准地(样地面积 667 m^2)测定林分生物量,以后在第一代杉木人工林 11、16、20 年生和 25 年生时,都在 4 块固定标准地测定林分生物量。第二代杉木人工林营造后,同样设立了 4 块固定标准地,并于第二代林 7、11、16、20 年生和 25 年生时,在 4 块固定标准地测定林分生物量。每次测定生物量的同时采集养分待测样品。为了保证样品具有代表性,在每一次采集样品的伐倒的标准木上把它分成树干基部、中下、中、中上和上部 5 个区段,每一区段采集相同重量的树干,再把采集的树干混合一起组合成树干样品;树皮取样采用树干相同的方法。枝和叶都分成当年生、1 年生、2 年生、多

chinaXiv:201806.00072v1

ChinaXiv合作期刊

年生分别取样。根分成根头、大根(1 cm≤根径)、粗根(0.2 cm≤根径< 1 cm)、细根(根径<0.2 cm)分别取样。

1.3 养分测定

将待测的杉木各器管组织样本,取适量样品置于85℃恒温干燥箱内烘干至恒重,称干重,磨碎,过60目筛后按《土壤农业化学分析方法》[25]配置待测溶液。植物中的全N用半微量凯氏法,全P用分光光度计测定;全K、全Ca、全Mg均用原子吸收分光光度计测定。

1.4 不同生长阶段养分积累现存量计算

林分某一林龄时养分积累现存量用下式计算:

$$M_1 = W_{1i} \times L_{1i} \tag{1}$$

式中, M_1表示林分某一林龄时养分积累现存量(kg/hm^2);W_{1i}表示林分某一林龄时杉木某器官现存生物量(t/hm^2);L_{1i}表示林分某一林龄时杉木某器官的养分浓度(g/kg);$i=1,2,\cdots,5$(干、皮、枝、叶、根)。

1.5 不同生长阶段养分吸收量计算

以往林分某生长阶段的养分吸收量都采用"吸收=存留+归还"的计算方法[3]。这只有在某生长阶段林分归还的养分,完全是这生长阶段生产的物质的枯死物中的养分时才能成立。实际上林分某生长阶段的枯死物并不完全是这个生长阶段生产的物质中枯死的(尤其是常绿林分),有一部分可能是前一生长阶段生产的物质存留下来在本生长阶段才枯死物质。因此,要准确估算某生长阶段的养分吸收量,首先要准确估算某生长阶段林分生产的生物产量。

1.5.1 不同生长阶段的生产的生物产量估算

一般认为树木的干、皮在树木的生长过程中凋落甚少,随林龄增长其生物量不断积累,可以用两个不同生长阶段的这些器官现存量之差求得某生长阶段的生物产量,但枝、叶在树木的生长过程中会不断凋落,所以,要准确估算某生长阶段林分生产的生物产量,就有确定叶和枝从生长出来到枯死的整个生长期。在此基础上再估算出测定的该生长阶段林分现存枝叶生物量中有多少是前一生长阶段留下的,而且还要估算出该生长阶段内生长的枝叶在这生长阶段的枯死量。那么某生长阶段生产的生物产量(W)等于此次测定树干、皮、根的现存生物量(W_{2i})减去前一生长阶段的树干、皮、根现存生物量(W_{1i})(根系也存在更新代谢过程,但准确测定根系的周转周期,在技术上还存在很大难度,因此,本研究将根与干材和树皮同等对待,其估算出的生产量要低于实际生产量),加上此次测定的现存枝叶生物量(W_{3j})减去此次测定的现存枝叶生物量中属于前一生长阶段生长留下的枝叶量(W_{4j})的差,再加上该生长阶段生长的枝叶的枯死量(W_{5j})。其公式为:

$$W = (W_{2i} - W_{1i}) + (W_{3j} - W_{4j}) + W_{5j} \tag{2}$$

式中,$i=1,2,3$(干、皮、根);$j=1,2$(枝、叶)。本研究中杉木叶的生长期采用刘爱琴等[22]研究成果定为5年,根据我们在会同对杉木生长的长期观测,把杉木枝生长期定为10年。

1.5.2 不同生长阶段的养分吸收量计算

"吸收=存留+归还"也只有在某生长阶段杉木各器官养分浓度与前一生长阶段测定的杉木各器官养分浓度相等时才正确。如果某生长阶段测定的杉木各器官养分浓度为L_{1i},前一生长阶段测定的浓度为L_{2i}。若$L_{1i}<L_{2i}$时,则前一生长阶的生物现存量中的养分浓度从L_{2i}降低为L_{1i},这意味着前一生长阶生物现存量中的养分转移到这生长阶段生产的生物体内。当$L_{1i}>L_{2i}$时,则前一生长阶生物现存量中的养分浓度从L_{2i}上升为L_{1i},那么这一生长阶段吸收的养分不仅积累在这个生长阶段生产的生物量中,而且还有一些运送到前一生长阶段的生物现存量中。所以,在估算某生长阶段林分吸收的养分时先要估算出前一个生长阶段现存生物量中有多少养分输送到这个生长阶段生产的生物量中($L_{1i}<L_{2i}$时),或前一生长阶段生物现存量中要增补的养分量($L_{1i}>L_{2i}$时)。在估算出某生长阶段生产的生物产量和某生长阶段以前的生物现存量中在此生长阶段转移出(或又吸收)养分量后,不同生长阶段的养分吸收量计算不采用"吸收=存留+归还"的方法计算,而是用下式求得,如果$L_{1i}<L_{2i}$时,从土壤吸收养分量计算公式为:

$$M_3 = W_{3i} \times L_{1i} - W_{2i} \times (L_{2i} - L_{1i}) \tag{3}$$

chinaXiv:201806.00072v1

ChinaXiv合作期刊

当 $L_{1i}>L_{2i}$ 时,则有

$$M_3 = W_{3i}\times L_{1i} + W_{2i}\times (L_{1i}-L_{2i}) \tag{4}$$

式中,M_3 表示吸收养分量(kg/hm^2);W_{3i} 表示某生长阶段生产量(t/hm^2);W_{2i} 表示前一生长阶段的现存量(t/hm^2);i=1,2,…,5(干、皮、枝、叶、根)。

1.6　养分利用效率

养分利用效率的高低用每生产 1 t 干物质需要的养分量来表征,其需要的养分量越低,养分利用效率越高,反之则然。其计算公式为:

$$N = M/W \tag{5}$$

式中: N 表示养分的利用效率(kg/t);M 表示某生长阶段林分吸收养分量(kg);W 表示某生长阶段林分的生产量(t)。

1.7　数据分析处理

所有数据经 Excel 软件处理,用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)进行不同代数,不同生长阶段,不同器官养分浓度、养分积累和分配的显著性检验。

2　结果与分析

2.1　养分浓度的比较

从图 1 看出,同一林龄时的两代林杉木体内养分浓度第二代比第一代高。其中,N 浓度高 2.85—3.48 g/kg,P 浓度高 0.16—0.25 g/kg,K 浓度高 1.86—2.72 g/kg,Ca 浓度高 2.10—2.50 g/kg,Mg 浓度高 0.77—1.31 g/kg。经差异显著性检验表明,同一林龄时,两代杉木体内的 N 之间、Mg 之间,以及 20a 和 25 年生两代杉木体内的 K 之间、Ca 之间浓度差异极显著(P<0. 01),其余差异显著(P<0. 05)。

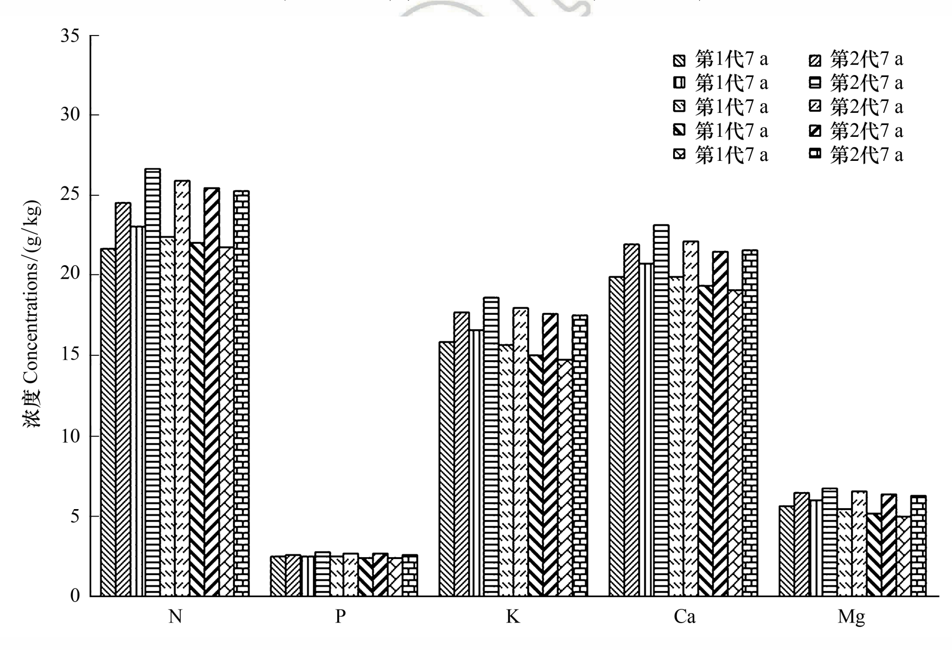


图 1　两代杉木林不同生长阶段的养分元素浓度

Fig.1　Concentrations of nutrient elements in different growth stages of two generation Chinese fir forests

图 2 表明,同一林龄时,第二代的杉木各器官体内养分浓度也分别高于第一代。其中,树干、皮、枝、叶和根的养分浓度分别比第一代高 6.86%—8.79%,11.71%—20.60%,13.17%—21.06%,10.82%—15.25%,9.76%—17.78%。经差异显著性检验表明,同一林龄时,除两代杉木的树干养分浓度之间差异显著(P<0.05)外。其余同一器官养分浓度之间差异极显著(P<0.01)。

chinaXiv:201806.00072v1

ChinaXiv合作期刊

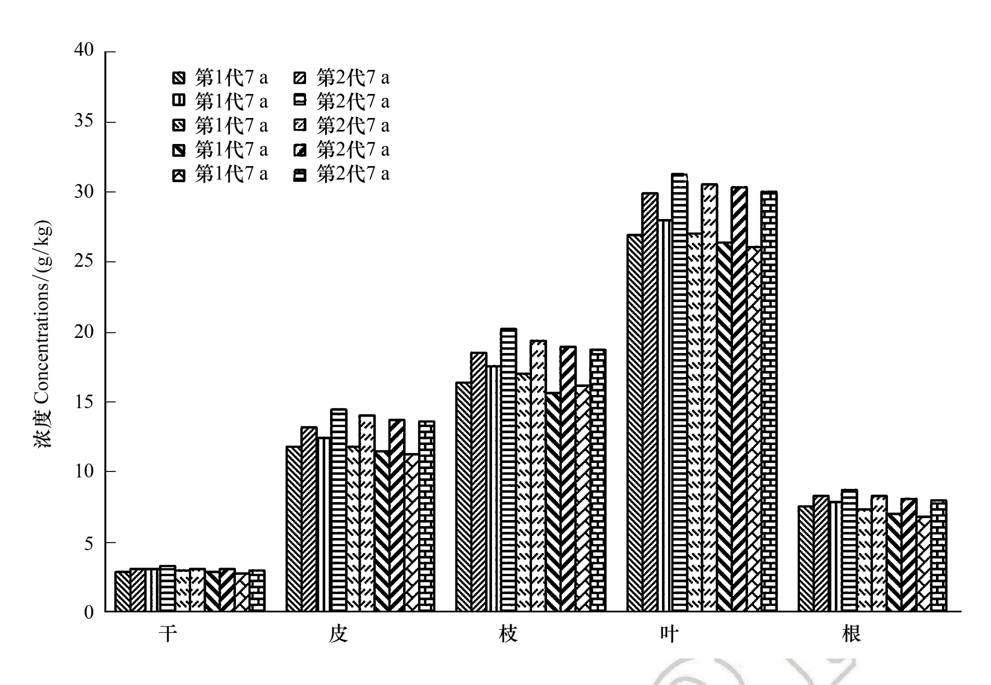


图 2　两代杉木林不同生长阶段各器官的养分浓度

Fig.2　Nutrient concentrations of organs in different growth stages of two generations Chinese Fir Plantation

通过对两代林的杉木器官养分浓度随林龄增加的变化分析发现,7—11 年生时养分浓度增加的速率第二代杉木是第一代的 1.4 倍,12—16、17—20、21—25 年生时养分浓度下降的速率第二代杉木分别只有第一代的 81.41%,40.56%和 61.35%。

2.2　两代杉木林年均吸收养分的比较

从表 1 中发现,1—7 年生,第一代的年均吸收养分量比第二代多 7.94%(7.01 kg/hm^2),8—11,12—16,17—18、21—25 年生,又分别比第二代少 13.04%(22.40 kg/hm^2),2.52%(4.27 kg/hm^2),7.93%(15.27 kg/hm^2)和 14.58%(27.53 kg/hm^2)。1—7 年生第一代的 N、P、K、Ca、Mg 各元素的年均吸收量比第二代分别多 6.74%,11.88%,9.68%,7.30%,8.88%;8—11、12—16、17—20、21—25 年生的 N、P、K、Ca、Mg 年均吸收量分别比第二代少 2.27%—13.75%,2.41%—12.25%,7.02%—21.29%,10.64%—17.91%,22.15%—36.39%。从上分析看出,林分 7 年生以前第一代的年均吸收养分量比第二代多,7 年生后第一代比第二代少。

表 1　两代杉木林不同生长阶段年平均吸收的养分

Table 1　The annual amount of nutrients absorbed in of the two generations of Chinese fir plantation at different ages

生育阶段/年生 Fertility stage	世代 Generations	生产力 Production/ (t hm^{-2} a^{-1})	养分元素 Elements/(kg hm^{-2} a^{-1})					合计 Total
			N	P	K	Ca	Mg	
1—7	第一代	8.08	31.31 *	3.03 *	19.19 *	26.30 *	7.21 *	87.04 *
	第二代	6.17	29.20 *	2.67 *	17.85 *	24.38 *	6.54 *	80.64 *
8—11	第一代	11.51	52.96 **	5.41 *	33.59 *	44.46 **	12.64 **	149.06 **
	第二代	10.63	60.24 **	5.95 *	37.52 *	52.26 **	15.44 **	171.41 **
12—16	第一代	18.71	61.93a	5.40a	35.76a	46.16 *	11.90 *	161.15a
	第二代	11.31	55.88a	5.53a	38.27a	51.07 *	14.67 *	165.42a
17—20	第一代	23.45	70.12a	5.93 *	40.03 *	49.63 **	11.53 **	177.24 **
	第二代	16.51	71.64a	6.18 *	43.28 *	55.99 **	15.42 **	192.51 **
21—25	第一代	18.49	62.36 **	5.34 *	34.99 **	47.70 **	11.24 **	161.33 **
	第二代	14.75	69.19 **	6.01 *	42.44 **	55.89 **	15.33 **	188.86 **

本表的差异分析是两代林同一林龄同一元素吸收量的差异分析,* 表示同一林龄同一元素吸收量差异显著(P<0.05),** 差异极显著(P<0.01),小写字母相同表示同一林龄同一元素吸收量差异不显著(P>0.05)

chinaXiv:201806.00072v1
www.ecology.cn

ChinaXiv合作期刊

从两代林养分吸收年均量随林龄增加的变化分析中看出,第一代从 1 年生到 20 年生的养分吸收量随林龄增加而增加,20 年生后随林龄增大逐渐下降,年变化曲线为抛物形,抛物线顶点出现在 17—20a。第二代的 1—7a 和 17—20 年生时,年均吸收养分呈上升趋势,12—16a 和 21—25a 呈下降趋势,年变化曲线为双波峰曲线。波峰分别出现在 1—7a 和 17—20a。第一代 8—11,12—16a 和 17—20a 年均吸收养分上升的速率分别为 71.25%,8.35%和 9.98%,比第二代 8—11a 和 17—20 年生时的 112.56%和 16.50%小许多。第二代 8—11a 和 17—20 年生年均吸收养分下降速率分别为 3.50%,1.90%,比第一代 20—25a 下降速率 8.98%又低许多。表明林分整个生长过程中对林地养分的消耗,第一代比第二代少些。

两代林同一林龄时年均吸收同一养分元素量的差异分析表明,除 12—16a 的两代林的 N 之间、P 之间、K 之间,吸收总养分量之间,以及 17—20a 的两代林的 N 之间的年均吸收量差异不显著外($P>0.05$),其余两代林的各营养元素的年均吸收量之间差异显著($P<0.05$),或极显著($P<0.01$)(表 1)。

2.3　养分积累与分配的比较

2.3.1　养分积累的比较

从表 2 可知,第一代 7、20、25 年生时的养分积累量分别比第二代多 43.02 kg/hm^2(9.14%),32.06 kg/hm^2(2.01%),3.96 kg/ hm^2(0.22%)。11、16 年生时第一代的养分积累量分别比第二代少 54.42 kg/hm^2(6.72%),45.48 kg/hm^2(3.44%)。杉木连栽并不一定导致第二代林乔木层养分积累减少。第一代的 N、P 元素积累量分别比第二代多 6.38—51.15 kg/hm^2,0.99—2.86 kg/hm^2。第一代 7 年生时 Ca、Mg 元素积累量分别比第二代多 11.62 和 3.85kg/hm^2,7 年生后各生长阶段分别比第二代少 9.93—25.19,8.23—22.52kg/hm^2。K 元素积累量,7、20a 和 25 年生时第一代比第二代分别多 8.88%,2.43%和 0.97%,11a 和 16 年生又分别比第二代少 4.13%和 2.03%。就总体而言,第一代的 N、P、K 素积累量高于第二代, Ca、Mg 低于第二代。

表 2　两代杉木人工林不同林龄时乔木层积累的营养元素量

Table 2　The nutrient accumulated in the tree layers of the two generations of Chinese fir plantation at different ages

林龄/a Stand age	世代 Generations	生物量/(t/hm^2) Existing biomass	养分元素 Elements/(kg/hm^2) N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
7	第一代	52.96	185.44(37.11) *	18.60(52.34) *	116.35(22.56) *	151.16(29.43) * (	42.05(8.19) *	513.60(100) *
	第二代	40.06	170.27(36.18) *	15.71(3.34) *	106.86(22.71) *	139.54(29.65) *	38.20(8.12) *	470.58(100) *
11	第一代	91.18	323.20(36.04)a	33.76(3. 65)a	209.84(23.40)a	257.52(23.71) *	73.57(8.20) *	896.89(100) *
	第二代	75.65	316.92(35.42)a	32.41(3.51)a	218.89(23.01)a	280.29(29.46) *	81.80(8.60) *	951.31(100) *
16	第一代	167.72	489.52(36.06)a	48.05(3.58)a	304.04(23.64) *	351.45(27.33) *	95.10(7.93) **	1286.16(100) *
	第二代	116.67	480.69(36.28)a	46.48(3.45)a	313.36(23.44) *	376.64(28.29) *	113.85(8.44) **	1332.02(100) *
20	第一代	245.80	638.68(39.46) *	57.386(3.45) *	387.12(23.92)a	427.70(29.45)a	107.51(6.64) *	1618.39(100) *
	第二代	163.09	589.29(37.14) *	54.76(3.45) *	377.92(23.88)a	437.63(27.59)a	125.93(7.94) *	1586.53(100) *
25	第一代	311.38	747.74(40.58) *	63.42(3.18)a	448.50(24.41)a	475.52(25.40) *	113.61(6.17) *	1842.79(100)a
	第二代	210.24	696.59(37.88) *	62.43(3.45)a	444.17(24.16)a	498.47(27.11) *	136.13(7.40) *	1838.83(100)a

括号内的数为百分数,本表的差异分析是两代林同一林龄同一元素积累量的差异分析, * 表示同一林龄同一元素积累量差异显著($P<0.05$), * * 差异显著($P<0.01$),小写字母表示同、同一林龄间同一元素积累量差异不显著($P>0.05$)

两代林同一林龄时各营养元素积累的差异分析表明,除 11 年生时两代林的 N 之间、P 之间、K 之间,16 年生时两代林的 N 之间、P 之间,20 年生时两代林的 K 之间、Ca 之间,25 年生时两代林的 K 之间、P 之间,养分总积累量之间差异不显著外($P>0.05$),其余两代林的各营养元素积累量之间差异显著($P<0.05$)(表 2)。

从表 2 中两代林各养分元素积累量占总养分元素量的百分比(括号内的数)对比中看出,杉木从幼林到成熟期,第一代不同林龄时积累 N 和 P 量占总养分量的比例分别比第二代高 0.62—2.70,0.03—0.18 个百分点,第一代的 Ca 却比第二代少 0.22—1.71 个百分点;第一代 7 年生时的 K 所占比例比第二代低 0.06 个百分点,11、16、20、25 年生时分别比第二代高 0.20—0.39 个百分点;虽然 11 年生时第一代的 Mg 所占比例比第二代低 0.07 个百分点,但 7、16、20、25 年生时第一代比第二代高 0.40—1.33 个百分点。表明第一代 N、P、K 各占

chinaXiv:201806.00072v1
www.ecologica.cn

ChinaXiv合作期刊

总养分量比例分别高于第二代,Ca、Mg 所占比例少于第二代。

2.3.2 养分在器官分配上的比较

从图 3 看出,除 7 年生时两代杉木林积累的养分在器官分配大小顺序相同外(叶>枝>干>皮>根),7 年生以后其顺序发生了变化。11 年生林分,各器官积累养分量大小顺序是:第一代叶>枝>干>皮>根,第二代叶>枝>皮>根>干;16 年生,第一代干>皮>叶>枝>根,第二代叶>枝>皮>干>根;20 年生,第一代干>叶>皮>枝>根,第二代叶>皮>枝 >干>根;25 年生,第一代干>皮>叶>枝>根,第二代叶>皮>干>枝>根。

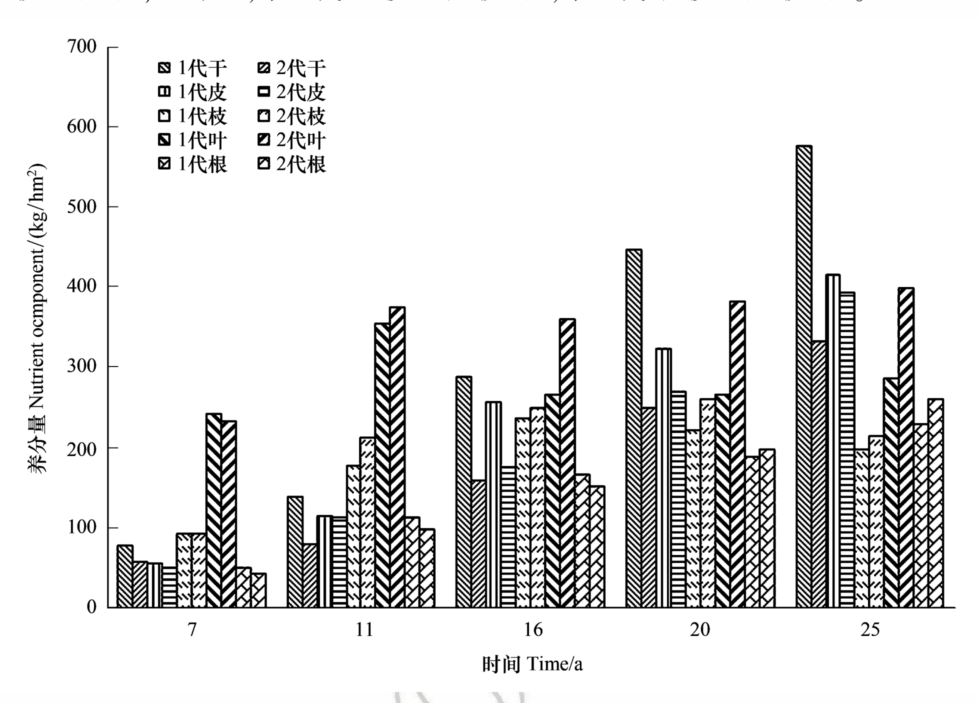


图 3 两代杉木林不同生长阶段各器官的养分累积量

Fig.3 Nutrient components accumulated in the organs at different growth stages of two generation Chinese fir forests

从幼林到成熟期各林龄时积累在第一代干、皮中养分量比第二代分别多 29.79%—79.12%,1.68%—15.21%。积累在第一代的枝、叶养分量除 7 年生时分别比第二代多 1.71%和 3.92%外,7 年生以后各林龄时则分别比第二代少 30.32%—35.56%和 7.12%—16.59%。林分 16 年生以前,积累在根中养分量,第一代比第二代多 9.81%—16.36%,16 年生以后,第一代比第二代少 3.80%—17.10%。

经差异分析得出,除 7 年生的两代林树皮之间、树枝之间、树叶之间、树根之间,11 年生的两代林树皮之间、树叶之间,25 年生的两代林树皮之间的养分积累量差异显著(P<0.05)外,其余差异极显著(P<0.01)

通过两代林各林龄时积累养分在各器官中的分配比率对比分析得出:同一林龄时,养分在干、皮中的分配比,第一代比第二代分别高 2.99—13.31,0.09—1.79 个百分点;枝和叶中分配比,第一代比第二代分别低 1.31—8.48,0.62—5.99 个百分点;根中的分配比,16 年生以前,第一代比第二代分别高 0.59—2.23 个百分点。16 年生以后比第二代少 0.70—2.35 个百分点。从中看出,第一代积累养分在干和皮的分配比高于第二代,枝和叶中的分配比低于第二代。

2.4 养分利用效率比较

2.4.1 生产 1 吨干物质需要的养分

从表 3 中看出,1—7,8—11,12—16,17—20,21—25 年生时,每生产 1 t 干物质所需养分,第二代比第一代分别多 1.28、3.19、4.28、4.09、4.09 kg。就具体营养元素而言,第一代不同生长阶段每生产 1 t 干物质的需 N、P、K、Ca、Mg 量,分别比第二代少 0.85—1.35,0.05—0.14, 0.51—1.08,0.70—1.50,0.17—0.51 kg。换一种角度分析。假若吸收 100 kg 养分,以第一和二代不同生长阶段的养分利用效率,在各生长阶段第一代可生产出

chinaXiv:201806.00072v1

ChinaXiv合作期刊

9.28、7.72、11.60、13.23 t 和 11.47 t 干物质,第二代分别只能生产 7.66、6.20、7.75、8.58 t 和 7.81 t。也就是说不同生长阶段的养分利用效率,第二代比第一代相应低 17.46%,19.69%,33.19%,26.03%和 31.91%。

表 3　两代杉木林不同生长阶段生产一吨干物质所需养分/(kg/t)

Table 3　The nutrients needed to produce one ton of dry matter in two-generation Chinese fir plantation at different age

生育阶段/年生 Fertility stage	世代 Generations	养分元素 Elements N	P	K	Ca	Mg	合计 Total
1—7	第一代	3.88(35.99)	0.38(3.53)	2.38(22.08)	3.25(30.15)	0.89(8.25)	10.78(100)
	第二代	4.73(36.21)	0.43(3.29)	2.89(22.13)	3.95(30.25)	1.06(8.12)	13.06(100)
8—11	第一代	4.60(35.52)	0.47(3.63)	2.92(22.55)	3.86(29.81)	1.10(8.49)	12.95(100)
	第二代	5.67(35.12)	0.56(3.51)	3.53(21.86)	4.92(30.47)	1.46(9.04)	16.14(100)
12—16	第一代	3.31(38.40)	0.29(3.36)	1.91(22.16)	2.47(28.65)	0.64(7.43)	8.62(100)
	第二代	4.36(33.80)	0.43(3.33)	2.99(23.18)	3.97(30.78)	1.15(8.91)	12.90(100)
17—20	第一代	2.99(39.55)	0.25(3.31)	1.71(22.62)	2.12(28.04)	0.49(6.48)	7.56(100)
	第二代	4.34(37.25)	0.37(3.18)	2.62(22.49)	3.39(29.10)	0.93(7.98)	11.65(100)
21—25	第一代	3.37(38.65)	0.29(3.33)	1.89(21.67)	2.56(29.36)	0.61(6.99)	8.72(100)
	第二代	4.69(36.61)	0.41(3.20)	2.88(22.48)	3.79(29.59)	1.04(8.12)	12.81(100)

括号内的数为百分数

2.4.2　生产 1 吨杉木器官需要的养分

表 4 看出,第二代在 1—7,8—11,12—16,17—20,21—25 a 各生长阶段,生产 1 t 树干、皮、枝、叶和根的干物质所需养分量,分别比第一代多 0.19—0.29,1.38—2.75,2.15—3.36,1.60—3.61,0.88—1.25 kg。各器官养分的利用效率上,第一代比第二代树干的养分利用效率高 7.02%—10.22%;皮高 11.73%—21.29%;枝高 13.12%—21.19%;叶高 6.19%—14.03%;根高 10.91%—21.43%。

表 4　两代杉木林不同生长阶段生产一吨杉木器官需要的养分/(kg/t)

Table 4　Production of a ton of fir tube needs nutrients in two-generation Chinese fir plantation at different age

生育阶段/年生 Fertility stage	世代 Generations	干 Stem wood	皮 Stem bark	枝 Twig	叶 Needle	根 Root
1—7	第一代	2.80	11.79	16.34	26.19	7.32
	第二代	3.09	13.17	18.49	29.80	8.21
8—11	第一代	3.18	13.01	18.89	28.75	8.18
	第二代	3.41	15.76	21.14	32.28	9.06
12—16	第一代	2.73	10.96	15.90	26.48	6.43
	第二代	2.92	13.30	19.26	28.08	7.48
17—20	第一代	2.58	10.78	15.18	25.94	5.88
	第二代	2.77	13.20	18.05	27.73	7.13
21—25	第一代	2.43	10.35	15.00	25.78	5.40
	第二代	2.62	13.06	18.01	27.53	7.11

3　讨论

第二代杉木器官养分浓度比同一生长阶段第一代相应的高;进入干材生长阶段后,器官养分浓度随生育阶段的提高而逐渐降低,与马祥庆等[23]的结论相同。本研究第一代杉木林在某一林龄时乔木层养分积累量高于第二代,在另一林龄时稍低于第二代,与马祥庆等[23]和刘爱琴等[22]研究第一代杉木林在任一林龄时乔木层养分积累量都高于第二代结果不一样。本研究表明,杉木连栽并不一定导致第二代乔木层养分积累减少。

不同林龄时养分在器官分配上与马祥庆等[23]研究的有所不同。马祥庆等研究认为虽然不同生长阶段养

chinaXiv:201806.00072v1
www.ecologica.cn

ChinaXiv合作期刊

分在器官分配上表现不一,但同一生长阶段各栽植代数相同。本研究结果除 7 年生以前两代林养分在器官上的分配大小顺序相同外,8—25 年生中的同一生长阶段两代林在器官养分分配大小顺序并非完全一致。马祥庆等的研究地是福建尤溪属中亚热带海洋性季风气候区,会同属中亚热带湿润气候区。同一树种在不同的立地环境条件下,可能造成其林分不同生育阶段生物量在器管分配和器管养分含量的差异,进而导致养分积累在器管分配上的差异。

会同两代林分年均吸收养分量与刘爱琴等[22]研究的也有差别。本研究林分 7 年生前第一代比第二代多,8—25 年生比第二代少。刘爱琴等研究得出,中龄林(第 1 代 11 年生,第 2 代 12 年生)和成熟林(两代都为 31 年生)都是第一代多于第二代。而且年均吸收养分量随林龄增加其变化与刘爱琴等的也不一样。刘爱琴等认为随发育阶段的提高,两代林养分的年吸收量都呈增加趋势[22];但会同两代杉木林年均吸收养分量在某个生长阶段均出现下降的趋势。造成两者差别的原因有 3 点:(1)本研究的两代林是同一立地(第一代采伐后第二年在采伐迹地营造第二代林)生长的林分,刘爱琴研究的不同代数林分,采用“时空转换”法在研究林区内选择林地母岩及地位指数一致的两个不同林分。由于空间异质性,可能使研究的结果与实际并不完全相符。(2)刘爱琴等只测定 11 年生(或 12 年生)和 31 年生两个林龄时,两林龄间相差较大,无法体现出 11—31 年生其间不同生长阶段吸收养分量变化趋势。(3)刘爱琴等采用“吸收=存留+归还”的方法估算不同生长阶段林分养分吸收量,会同杉木林的不同生长阶段林分养分吸收量是用本文研究方法中的方法估算的。估算方法不同,所得出的结果也就不一样。

第一代杉木的养分利用效率高于第二代,以及养分利用效率随林龄增加的变化上会同的 1—20 年生,尤溪的 1—19 年生[23](马祥庆等只研究林龄 19 年生时)两者趋同。都表明杉木连栽可导致第二代杉木养分利用效率下降。我们曾研究会同两代林的杉木养分利用效率[24](那时只研究到第二代 18 年生时)。虽然得出的结论与本次相同,但是,此次研究的结果在 1—7,8—11、12—16 年生时,第一代每生产 1 t 干物质所需养分量分别比前次研究的第一代多 10.85%,28.95%和 16.32%,第二代也比前次第二代多 4.60%,35.16%和8.63%。造成这种差别是因为前次研究某生长阶段的生产量时,是用某生长阶段测定的生物现存量减去前次生物现存量的差,再加某生长阶段的凋落物量求算的,某生长阶段的养分吸收量是依据“吸收=存留+归还”的计算方法求得。本次研究估算某生长阶段的生产量考虑了枝、叶的实际生长期;估算某生长阶段年均吸收的养分量时不是用“吸收=存留+归还”的方法,而是用考虑了枝、叶的实际生长期后估算的生产量乘以物质的养分浓度,并考虑了这一生长阶段与前一生长阶段生物量中的养分浓度差异,因而这次研究结果更逼近实际。

本研究结果表明,杉木连栽第二代林进入快速生长阶段后年均吸收的养分量比第一代多。这一方面说明为了维持杉木在整个生长过程中的正常生长,第二代林所需的养分比第二代多;而且也表明第二代比第一代从土壤中吸收更多的养分。这对林地养分的消耗大,由此可能导致第二代林地的地力衰退。

任一个生长阶段第二代林分生产力低于第一代(表 1)。早就有人报导过植物生长量与养分含量和养分平衡密切相关[3,8]。也就是说当树木体内含有较多的营养元素量,但树木的生长不一定是最好的,只有当这些各营养元素量达到相互平衡时,才有可能获得最好的产量。虽然第二代杉木林体内养分含量比第一代的高,但通过对杉木体内各养分元素量搭配的比例分析(表 2 中括号内的数据),第一代 1—7,8—11,12—16,17—20,21—25 年生时杉木体内的 N、P、K、Ca、Mg 占总养分的比例与第二代不相同。如果认为第一代杉木体内各元素量的比例相对平衡有利杉木生长的话,那么第二代的各元素量比例的不协调可能是导致第二代养分利用效率降低,以及生产力下降的一个主要原因。究竟是什么原因引起两代杉木体内各元素量搭配的比例不相同,养分利用效率下降,有待进一步深入研究。

从本研究结果看出连栽的第二代林的养分吸收量比第一代多,而养分利用效率低于第一代。这些都有可能导致第二代林的生产力降低和地力衰退。若不解决好这些问题人工林生产经营将很难持续。因此必须在营林措施上下功夫。如采用混交林栽植模式可以改变纯林的单一结构导致人工林生态系统养分循环失调[26],采用施肥、抚育和不同的采伐强度等经营管理措施可提高人工林土壤肥力、缓解产量下降[27]。人工林

chinaXiv:201806.00072v1

www.ecologica.cn

ChinaXiv合作期刊

地力衰退可以通过改变人工林经营管理方式,保证人工林生长的一个良性循环的生态环境,人工林连栽是可行的[28-29]。

本文研究是在第二代与第一代连栽的林地进行的。避免了"时空转换"法的缺陷,保证了空间尺度的一致性和时间尺度的连续性。在不同生长阶段吸收的养分量估算上采用与以往同类研究中完全不相同的方法。这种研究方法真实地反映了杉木生长和对养分吸收利用的生理规律。

4　结论

(1)同一生育阶段第二代杉木器管的各营养元素浓度都比第一代相应的高。其中,N 浓度高 2.85—3.48 g/kg,P 浓度高 0.16—0.25 g/kg,K 浓度高 1.86—2.72 g/kg,Ca 浓度高 2.10—2.50 g/kg,Mg 浓度高 0.77—1.31 g/kg。

(2)第一代杉木林在某一林龄时乔木层养分积累量高于第二代,在另一林龄时也可能低于第二代,杉木连栽不一定导致第二代林乔木层养分积累减少。养分在各器官中的分配比两代林中不相同。第一代养分在树干的分配比高于第二代,枝和叶中的分配比低于第二代。

(3)年均吸收养分量,7 年生以前,第一代比第二代多,7 年生以后,第二代比第一代多。表明杉木连栽第二代林会从土壤吸收更多的养分,不利于土壤肥力水平的维持

(4)任一个生育阶段,生产 1 吨杉木干物质所需养分量,第一代少于第二代,而且生产 1 吨干、皮、枝、叶和根干物质所需的养分量,也是第一代少于第二代。第二代的养分利用效率比第一代低,这应是杉木连栽第二代杉木林生产力下降的原因之一。

参考文献(References):

[1] Ebrmayer E. Die Qesamte Lehre der Woldsreu mit Rucksicht Aufdie Chemische Static des Woldbaues. Berlin: Julius Spriuger, 1976: 116-116.
[2] Cole D W, Gessel S P, Dice S F. Distribution and cycling of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in a second-growth Douglas-fir ecosystem.//Young H E, ed. In symposium on primary production and Mineral Cycling in Natural Ecosystem. New York: University of Maine Press, 1967: 197-232.
[3] Yu B. 植物生态学译丛(第一集). 北京: 科学出版社, 1974.
[4] Bormann F H, Likens G E. Pattern and Process in A Forested Ecosystem. New York: Springer-Verlag, 1979.
[5] Tsutsumi T, Kawahara T, Shidei T. The circulation of nutrients in forest ecosystem (I): On the amount of nutrients contained in the above-ground parts of single tree and of stand. The Journal of the Japanese Forestry Society, 1968, 50(3): 66-74.
[6] Bazilevich N I, Rodin L E. The biological cycle of nitrogen and ash elements in plant communities of the tropical and subtropical zones. Forestry Abstracts, 1966, 27(3): 357-368.
[7] 侯学煜, 林厚萱, 张慧龄. 中国 150 种植物的化学成份及其分析方法. 北京: 高等教育出版社, 1959.
[8] 潘维俦, 田大伦, 雷志星, 康文星. 杉木人工林养分循环的研究——(二)丘陵区速生杉木林的养分含量、积累速率和生物循环. 中南林学院学报, 1983, (1): 1-17.
[9] 冯宗炜, 陈楚莹, 王开平, 张家武, 曾士余, 赵吉录, 邓仕坚. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累、分配和循环的研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 245-256.
[10] 庄志东, 陈奇伯, 赵洋毅, 熊好琴. 滇中高原磨盘山常绿阔叶林营养元素分配格局. 东北林业大学学报, 2016, 44(3): 26-32.
[11] 刘顺, 罗达, 刘千里, 张利, 杨洪国, 史作民. 川西亚高山不同森林生态系统碳氮储量及其分配格局. 生态学报, 2017, 37(4): 1074-1083.
[12] 何德镇. 马占相思人工林生态系统养分积累与分配. 防护林科技, 2009, (2): 32-34.
[13] 赵春梅, 曹建华, 蒋菊生, 李晓波, 谢贵水. 橡胶人工林生态系统养分积累、分配与生物循环. 中国农学通报, 2008, 24(10): 467-470.
[14] 肖兴翠, 李志辉, 唐作钧, 曾琴, 王海风. 林分密度对湿地松人工林养分循环速率和利用效率的影响. 生态学杂志, 2013, 32(11): 2871-2880.
[15] 张希彪, 上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较. 生态学报, 2006, 26(2): 373-382.
[16] 林德喜, 刘开汉, 罗水发. 尾叶桉营养元素动态和循环分析. 应用与环境生物学报, 2002, 8(2): 148-153.
[17] 项文化, 田大伦. 不同年龄阶段马尾松人工林养分循环的研究. 植物生态学报, 2002, 26(1): 89-95.

chinaXiv:201806.00072v1

ChinaXiv合作期刊

[18] 纪文婧, 程小琴, 韩海荣, 康峰峰, 杨杰, 朱江, 赵敬, 白英辰, 马俊勇. 不同林龄华北落叶松人工林生物量及营养元素分布特征. 应用与环境生物学报, 2016, 22(2): 277-284.

[19] 何斌, 秦武明, 余浩光, 刘运华, 覃林, 覃永华. 不同年龄阶段马占相思(*Acacia mangium*)人工林营养元素的生物循环. 生态学报, 2007, 27(12): 5158-5167.

[20] 佟志龙, 陈奇伯, 王艳霞, 熊好琴, 吴晋霞. 不同林龄云南松林营养元素积累与分配特征研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(6): 100-106, 114-114.

[21] Evans J. Long-Term Productivity of Forest Plantation-Status in 1990. Congress: IUFRO, 1990: 165-180.

[22] 刘爱琴, 范少辉, 林开敏, 马祥庆, 盛炜彤. 不同栽植代数杉木林养分循环的比较研究. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 273-278.

[23] 马祥庆, 刘爱琴, 马壮, 范少辉. 不同代数杉木林养分积累和分布的比较研究. 应用生态学报, 2000, 11(4): 501-506.

[24] 田大伦, 沈燕, 康文星, 项文化, 闫文德, 邓湘雯. 连栽第1和第2代杉木人工林养分循环的比较. 生态学报, 2011, 31(17): 5025-5032.

[25] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[26] 杨玉盛, 陈光水, 郭剑芬, 何宗明, 陈银秀. 杉木观光木混交林凋落物分解及养分释放的研究(英文). 植物生态学报, 2002, 26(3): 275-282.

[27] Xu D P, Yang Z J, Zhang N N. Effects of site management on tree growth and soil properties of a second-rotation plantation of *Eucalyptus urophylla* in Guangdong province, China//Nambiar EKS, Ranger J, Tiarks A, Toma T, eds. Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests. Japan: CIFOR, 2004: 45-60.

[28] Cossalter C, Pye-Smith C. Fast-Wood Forestry Myths and Realities. Bogor, Indonesia: Centre for international forestry research, 2003: 47-47.

[29] Powers R F. On the sustainable productivity of planted forests. New Forests, 1999, 17(1/3): 263-306.

chinaXiv:201806.00072v1

www.ecologica.cn

